

INVESTIGASI INDEKS KERUSAKAN PADA STRUKTUR BAJA 4 TINGKAT DENGAN MENGGUNAKAN ANALISA RIWAYAT WAKTU

Ratih Dewanti¹ dan Daniel Rumbi Teruna²

¹ *Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan*
Email : dewanti_002@ymail.com

² *Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1*
Kampus USU Medan
Email : danielteruna@yahoo.com

ABSTRACT

Drift or inter-story drift have been widely used as criteria for evaluation of a structure performance under seismic excitation. However, several researchers believed that cumulative cyclic plastic deformation more stronger influenced than drift in order to asses of structure damage level. In this paper, a measurement of the structural seismic performance based on energy concepts and damage indexes are presented. Park and Ang damage index are employed to quantify the structural seismic performance. The value of D_{pa} is equal zero which means no damage, $D_{pa} \geq 1$ signifies complete collapse or total damage, and $0 < D_{pa} < 1$ is the degree of damage. The proposed analysis method is demonstrated for a four storey, three bays moment resisting frame steel building. Non-linear dynamic time history analysis are performed under 4 ground motion records, which are matched to the response spectrum design of Padang. This study was conducted to determine what to be done next to the building so can be restricted or demolished. Finally, the seismic performance of the building in term of damage index are presented in tables and graphics.

Keyword: Plastic deformation, respon spectrum, Park-Ang damage index

ABSTRAK

Drift maupun drift antar lantai telah banyak digunakan sebagai kriteria untuk evaluasi kinerja struktur dibawah pengaruh gempa. Namun, beberapa peneliti percaya bahwa komulatif siklik deformasi plastis lebih berpengaruh daripada drift yang digunakan untuk mendapatkan tingkat kerusakan struktur. Pada penulisan ini, pengukuran kinerja seismik struktur berdasarkan konsep energi dan indeks kerusakan disajikan. Indeks kerusakan Park-Ang digunakan untuk mengukur kinerja seismik struktur. Nilai D_{pa} sama dengan nol berarti tidak terjadi kerusakan, $D_{pa} \geq 1$ menandakan keruntuhan total atau kerusakan total, dan $0 < D_{pa} < 1$ menunjukkan tingkat kerusakan. Metode analisis dilakukan pada empat lantai, tiga bentang pada bangunan rangka baja. Analisa riwayat waktu non-linear dinamis dilakukan pada 4 rekaman percepatan tanah, yang disesuaikan dengan desain respon spektrum gempa Padang. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui apa yang akan dilakukan selanjutnya pada bangunan sehingga dapat diperbaiki atau diruntuhkan. Hasilnya, kinerja seismik bangunan dari indeks kerusakan akan disajikan dalam tabel dan grafik.

Kata kunci : deformasi plastis, respon spektrum, indeks kerusakan Park-Ang

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan beban dinamik yang sangat mempengaruhi keadaan struktur bangunan. Apabila kekuatan bangunan tidak dapat menahan beban dinamik tersebut, maka bangunan akan mengalami kerusakan bahkan akan mengalami keruntuhan. Kerusakan bangunan yang terjadi dinilai dengan menggunakan Indeks Kerusakan (Damage Index). Suatu struktur bangunan dengan daktilitas tertentu ketika terkena beban gempa dengan periode ulang tertentu harus mempunyai ketahanan gempa sesuai dengan perencanaan, sehingga dapat diketahui tingkat kerusakannya.

Ada beberapa parameter kerusakan bangunan, yaitu :

- Deformasi plastis struktur bangunan
- Dissipasi energi melalui hysteretic behavior pada elemen struktur.
- Cyclic fatigue yang rendah pada elemen struktur.
- Perubahan parameter dinamika struktur seperti periode natural struktur bangunan.

2. INDEKS KERUSAKAN

Indeks kerusakan pada struktur bernilai nol ketika tidak ada kerusakan dan bernilai 1 yang berarti mengalami keruntuhan total atau kerusakan total. Sedangkan $0 < D < 1$ menunjukkan besarnya tingkat kerusakan yang terjadi. Variabel kerusakan yang digunakan untuk menentukan besarnya kerusakan merupakan indikator dari respon yang terjadi. Indeks kerusakan dapat menggunakan satu variabel atau kombinasi dari beberapa variabel pada perhitungannya. Karena itu, untuk menghitung indeks kerusakan, variabel kerusakan dapat berdasarkan pendekatan sebagai berikut berikut:

1. *Demand versus capacity Demand* (beban) merupakan representasi dari gerakan tanah akibat gempa bumi. Sedangkan *capacity* merupakan kemampuan struktur untuk menahan gaya gempa tanpa mengalami kerusakan. Beban seismik struktur bangunan maupun bagian struktur bangunan dibandingkan dengan kapasitas struktur.
2. Penurunan variabel struktur seperti kekakuan, dissipasi energi maupun periode natural struktur bangunan yang dibandingkan dengan nilai kritis sebelumnya dan biasanya ditunjukkan dengan nilai persentase pada bagian struktur bangunan yang tidak mengalami kerusakan.

Beberapa rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai indeks kerusakan adalah sebagai berikut:

Non Cumulative Damage Indexes

Indeks kerusakan juga dapat dikelompokkan menjadi indeks "Lokal-Global" atau indeks "komulatif-nonkomulatif". Indeks kerusakan lokal merupakan kerusakan pada bagian struktur bangunan. Sementara indeks kerusakan global merupakan kerusakan struktur secara keseluruhan.

- **Non Cumulative local Damage Indexes**

Powell dan Allahabadi mendefinisikan kerusakan struktur berdasarkan daktilitas plastis yang merupakan konsep sederhana yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$DI_{\mu} = \frac{\mu_{max} - \mu_y}{\mu_{mon} - \mu_y} = \frac{\mu - 1}{\mu_{mon} - 1}$$

Dimana :

μ_{max} = daktilitas maksimum akibat gempa bumi
 μ_{mon} = daktilitas monotonik

- **Non Cumulative global Damage Indexes**

Indeks ini merupakan rasio perbandingan pada drift antara perpindahan maksimum struktur dan tinggi bangunan.

$$DI_{drift} = \frac{\Delta_m}{H}$$

Dimana :

Δ_m = deformasi dari suatu titik yang ditinjau
 H = tinggi bangunan

Indeks dan Skala Kerusakan Park and Ang

Berdasarkan perilaku dinamis, Park dan Ang mengemukakan kerusakan pada bangunan seismic adalah kombinasi linier dari kerusakan bangunan yang disebabkan oleh deformasi dan dipengaruhi oleh cyclic loading yang berulang-ulang. Park dan Ang memiliki 2 persamaan untuk mencari Indeks kerusakan yaitu persamaan pada keadaan linier dan keadaan non-linier. Persamaan pada keadaan linier hanya dipengaruhi oleh deformasi elastis yakni ketika terjadi deformasi, material masih dapat kembali ke bentuk semula. Sedangkan keadaan non-linier, struktur bangunan dipengaruhi oleh deformasi plastis dimana jika terjadi deformasi, material tidak akan kembali ke bentuk semula.

Pengaruh dari cyclic loading pada deformasi yang berbeda dianggap sama, sehingga indeks kerusakan ini dinyatakan pada keadaan linier :

$$D_{PA} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE$$

dimana:

δ_M = deformasi puncak maksimum

$\delta_u = \mu d_y$

δ_u = deformasi ultimit

μ = daktilitas struktur

d_y = yield displacement

Q_y = Yield Strength, (jika $Q_u < Q_y$, maka Q_u diganti dengan Q_y)

dE = Energi histerisis demand

β = parameter akibat cyclic loading nilainya 0.1 – 0.5

D_{PA} pada sebuah elemen untuk setiap tingkat maupun secara keseluruhan tiap tingkat pada bangunan dapat ditentukan dengan persamaan non-liniernya :

$$D_{PA} = \frac{\delta_M - \delta_y}{\delta_u - \delta_y} + \frac{\beta}{V_y \delta_u} \sum_{i=1}^n \int_0^t dE_i$$

dimana :

δ_M = perpindahan puncak struktur bangunan berdasarkan analisa pushover

δ_u = perpindahan ultimit

δ_y = perpindahan leleh berdasarkan analisa pushover

V_y = gaya geser dasar berdasarkan analisa pushover

E_i = energi histerisis demand

Nilai Indeks Kerusakan yang terjadi :

$D = 1$ Struktur bangunan sudah runtuh

$0,5 < D < 1$ Bangunan sudah tidak ekonomis untuk diperbaiki

$D < 0,5$ Struktur bangunan masih dapat diperbaiki

$D < 0,2$ Keadaan struktur bangunan masih stabil

$D = 0$ Struktur bangunan aman

Indeks dan Skala Kerusakan berdasarkan Parameter Modal

- **Maximum softening index**

Dipasquale dan Cakmak menegaskan *maximum softening* untuk 1 dimensi, dimana hanya frekuensi fundamental eigen yang dipakai.

$$D_m = 1 - \frac{T_{und}}{T_m}$$

Dimana :

T_{und} = periode struktur yang tidak mengalami kerusakan

T_m = periode maksimum struktur bangunan

maximum softening menunjukkan ukuran dari kombinasi antara kekakuan dan pengaruh plastis.

- **Plastic softening index**

Dipasquale and Cakmak menetapkan plastic softening index sebagai berikut :

$$D_{PL} = 1 - \frac{T_{dam}^2}{T_m^2}$$

Dimana :

T_{dam} = periode struktur yang mengalami kerusakan

Plastic softening pada dasarnya ukuran dari deformasi plastis dan pengaruh tanah selama gempa berlangsung.

Indeks Kerusakan berdasarkan Cyclic fatigue

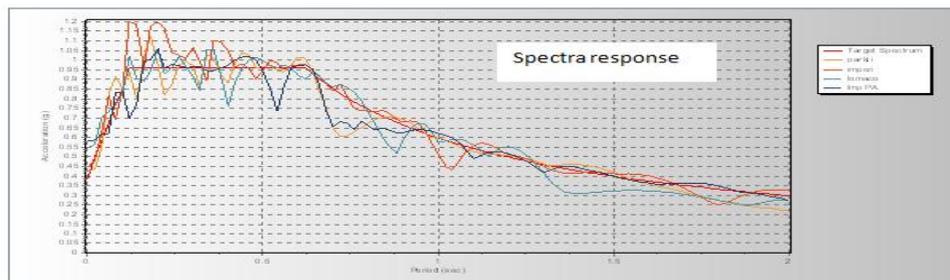
Krawinkler dan Zohrei menyatakan indeks kerusakan yang menggunakan 3 jenis pengukuran deterioration pada struktur yaitu kekuatan, kekakuan, dan kapasitas dissipasi energi .

$$\Delta d = A(d_p)^a$$

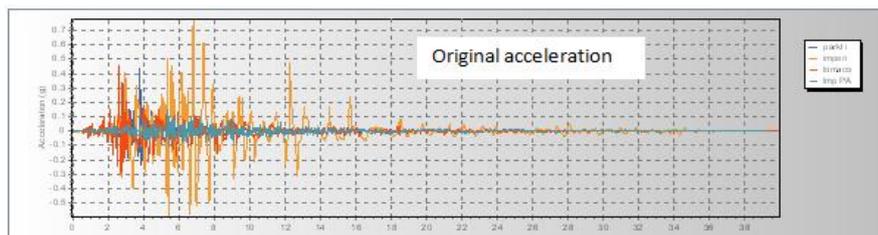
A dan a adalah parameter yang berdasarkan komponen struktur dan diperoleh dari beberapa grafik yang dikalibrasi dari hasil eksperimen.

3. PERCEPATAN TANAH DAN DESAIN RESPON SPEKTRUM

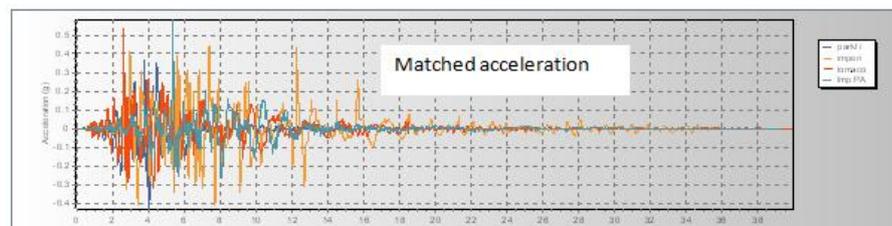
Analisis respon dinamik riwayat waktu digunakan sebagai simulasi gempa, yaitu sesuai dengan SNI 03-1792-2003. Rekaman percepatan tanah yang digunakan memiliki intensitas, durasi dan frekuensi yang berbeda. Rekaman percepatan tanah berikut diambil dari data base PEER yang di skalakan dengan respon spektrum gempa Padang dengan menggunakan program seismomatch. Daerah yang ditinjau untuk dimasukkan sebagai data gempag terletak pada zona gempa 4 dengan kondisi tanah sedang.. Data rekaman percepatan gempa yang terlihat pada gambar terdiri dari gempa Imp Parachute, Imperial Valley Bonds Corner, Lomapietra coralito, dan Parkfield.



Gambar 1.Respon spektrum gempa padang



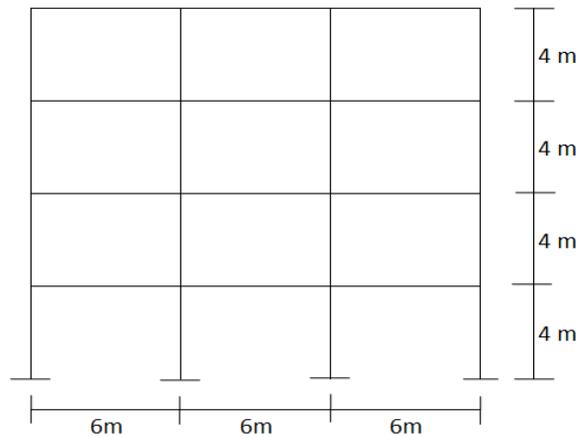
Gambar 2. Data rekaman percepatan gempa



Gambar 3. Percepatan gempa yang diskalakan dengan gempa Padang

4. MODEL STRUKTUR

Model struktur yang dianalisa adalah portal baja 2 dimensi, 4 tingkat, 3 bentang dengan tinggi tiap tingkat 4 m dengan panjang bentang 6 m. Model struktur ini direncanakan menggunakan material baja BJ-37 (SNI 03-1729-2002) dengan tegangan leleh 240 Mpa, tegangan putus 370 Mpa dan Elastisitas 200000 MPa



Dari perhitungan perencanaan struktur, dengan menggunakan SAP 2000 diperoleh kontrol ukuran balok dan kolom sebagai berikut :

Tabel 1. Ukuran balok

BALOK	No. Batang	WF	h(mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)
b1	17,21,25	W410X100	415	260	10	16.9
b2	18,22,26	W410X100	415	260	10	16.9
b3	19,23,27	W410X100	415	260	10	16.9
b4	20,24,28	W410X100	415	260	10	16.9

Tabel 2. Ukuran Kolom

KOLOM	No. Batang	WF	h(mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)
k1	1, 13	W410X114	420	261	11.6	19.3
k2	5, 9	W410X114	420	261	11.6	19.3
k3	2, 14	W410X114	420	261	11.6	19.3
k4	6, 10	W410X114	420	261	11.6	19.3
k5	3,7,11,15	W410X85	417	181	10.9	18.2
k6	4,8,12,16	W410X85	417	181	10.9	18.2

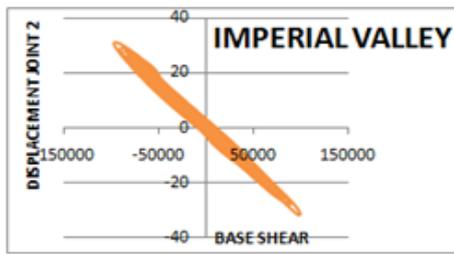
5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan teori indeks kerusakan Park-Ang dengan menggunakan program SAP 2000v.14 untuk mempermudah penyelesaian. Dengan dimensi yang telah ditentukan, struktur dianalisa dengan analisa nonlinier time history tipe direct integration untuk menentukan luasan kurva histeresis yang terbentuk akibat gempa. Dan tahap terakhir adalah analisa statik nonlinier pushover yaitu untuk menentukan hubungan base shear dan displacement. Dari kurva pushover akan ditentukan besarnya gaya geser dengan displacement puncak maksimum yang terbentuk dari hasil analisa nonlinier riwayat waktu sehingga dapat diketahui indeks kerusakan yang terjadi.

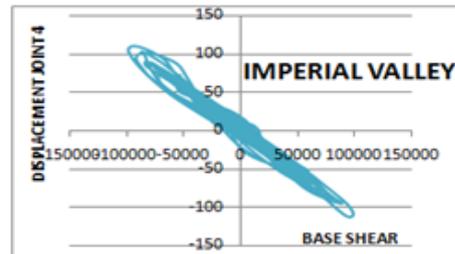
Kurva Histeresis

Kurva Histeresis merupakan kurva hubungan antara Displacement dengan Base Shear yang dipengaruhi oleh percepatan rekaman gempa. Program SAP 2000 tidak menampilkan besarnya luasan kurva energi histeresis sehingga besar luasan di pindahkan secara manual ke program AUTOCAD 2010 . Dari hasil analisa riwayat waktu Direct Integration dengan menggunakan 4 rekaman percepatan gempa diperoleh kurva hysteresis sebagai berikut:

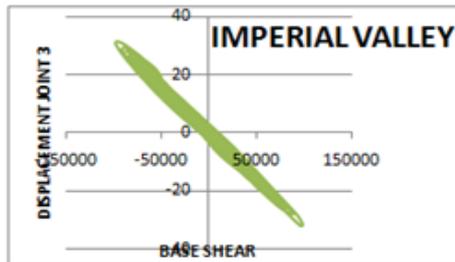
- **IMPERIAL VALLEY BONDS CORNER** (Waktu getar gempa 37.59 detik)



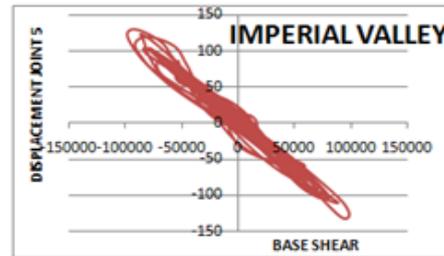
(A) Kurva Histeresis Joint 2



(C) Kurva Histeresis Joint 4



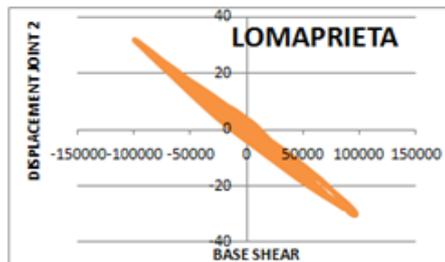
(B) Kurva Histeresis Joint 3



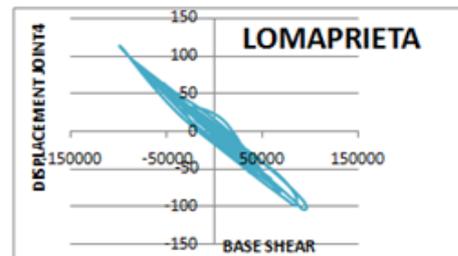
(D) Kurva Histeresis Joint 5

GRAFIK 1 KURVA ENERGI HISTERESIS DENGAN REKAMAN GEMPA IMPERIAL VALLEY (A) JOINT 2 , (B) JOINT 3 ,(C) JOINT 4 , (D) JOINT 5

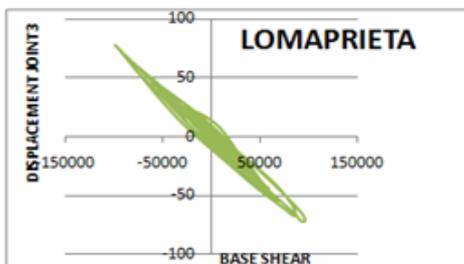
- **LOMAPRIETA** (Waktu getar gempa 39.395 detik)



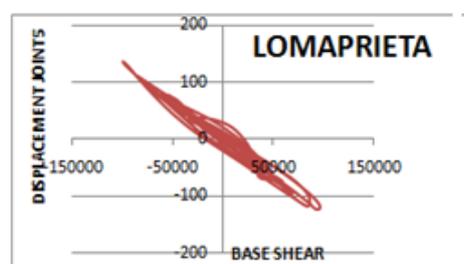
(A) Kurva Histeresis Joint 2



(C) Kurva Histeresis Joint 4



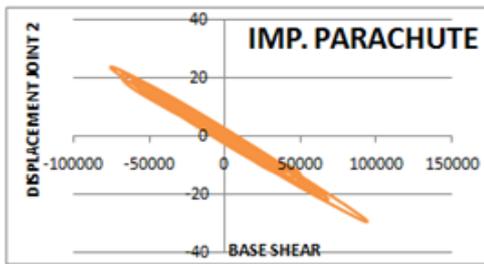
(B) Kurva Histeresis Joint 3



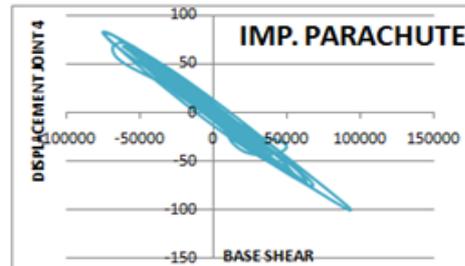
(D) Kurva Histeresis Joint 5

GRAFIK 2 KURVA ENERGI HISTERESIS DENGAN REKAMAN GEMPA LOMAPRIETA (A) JOINT 2 , (B) JOINT 3 ,(C) JOINT 4 , (D) JOINT 5

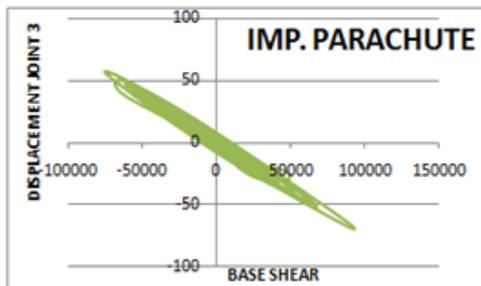
- **IMPERIAL PARACHUTE** (Waktu getar gempa 39.32 detik)



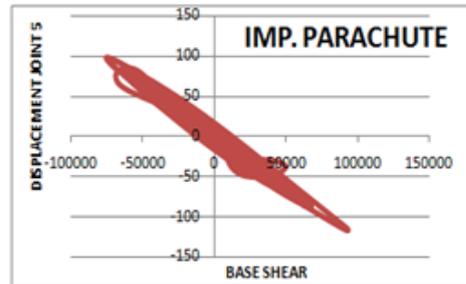
(A) Kurva Histeresis Joint 2



(C) Kurva Histeresis Joint 4



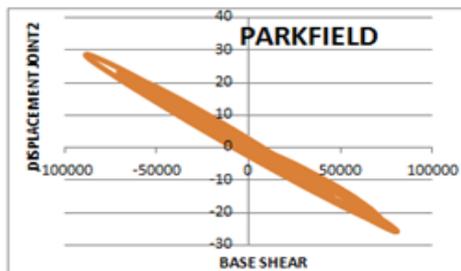
(B) Kurva Histeresis Joint 3



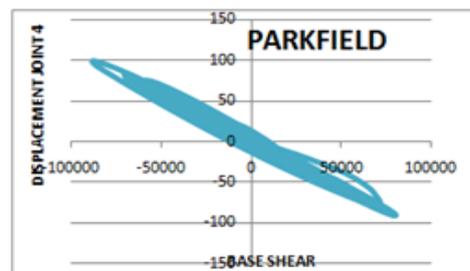
(D) Kurva Histeresis Joint 5

GRAFIK 3 KURVA ENERGI HISTERESIS DENGAN REKAMAN GEMPA IMPERIAL PARACHUTE (A) JOINT 2 , (B) JOINT 3 ,(C) JOINT 4 , (D) JOINT 5

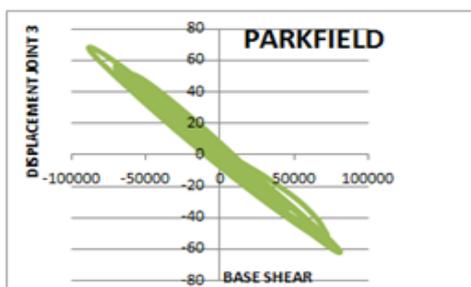
- **PARKFIELD** (Waktu getar gempa 21.95 detik)



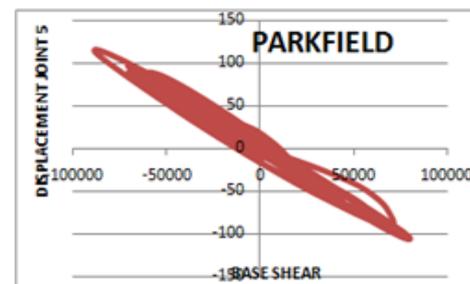
(A) Kurva Histeresis Joint 2



(C) Kurva Histeresis Joint 4



(B) Kurva Histeresis Joint 3

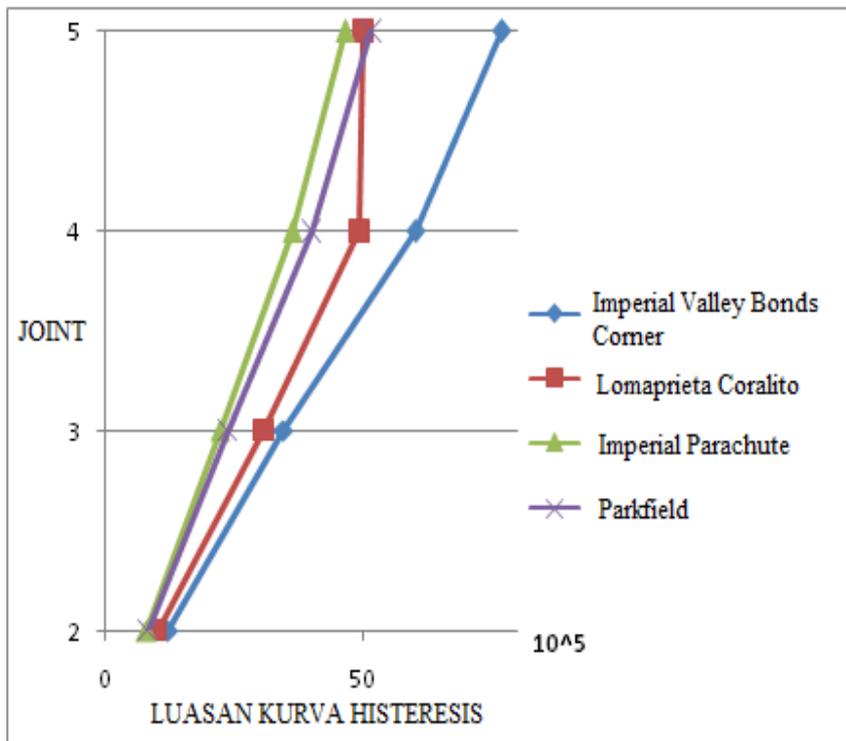


(D) Kurva Histeresis Joint 5

GRAFIK 4. KURVA ENERGI HISTERESIS DENGAN REKAMAN GEMPA PARKFIELD (A) JOINT 2 , (B) JOINT 3 ,(C) JOINT 4 , (D) JOINT 5

Tabel 3. Rekapitulasi Luasan Kurva Histeresis 4 Rekaman Gempa

JOINT	Imperial Valley Bonds Corner	Lomapieta Coralito	Imperial Parachute	Parkfield
	kg.mm	kg.mm	kg.mm	kg.mm
2	1219810	1020940	810745	839823
3	3467340	3088445	2227760	2388220
4	6025280	4941840	3636255	4002026.6
5	7690118	5015449	4667791	5176374



GRAFIK 5. PERBANDINGAN KURVA HYSTERESIS 4 REKAMAN GEMPA PERLANTAI

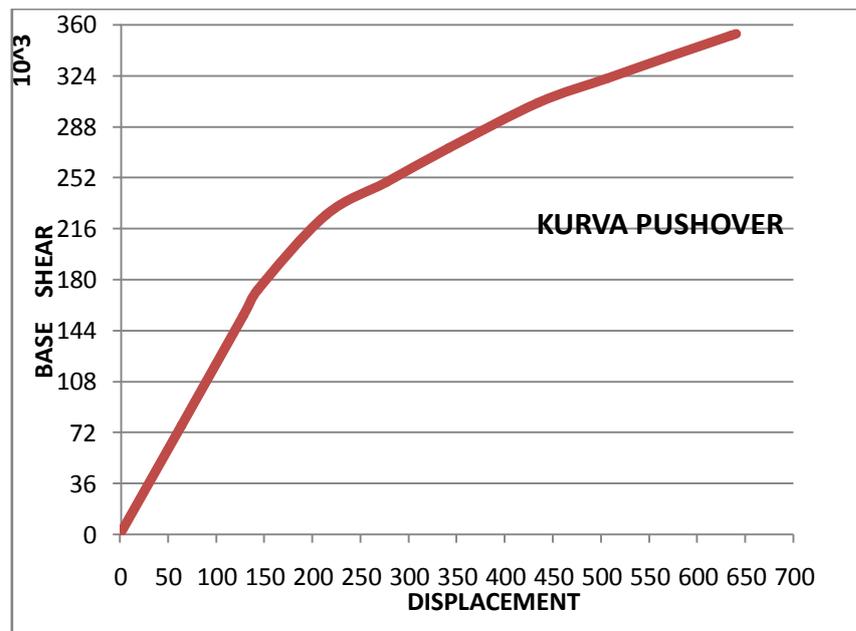
Simpangan Struktur

Rekaman Gempa	Imperial Valley Bonds Corner	Lomapieta Coralito	Imperial Parachute	Parkfield
Displacement Max (mm)	132.608	135.292	117.503	116.319

Tabel 4. Displacement pada joint 5 yang dihasilkan 4 percepatan rekaman gempa

Kurva Pushover

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Analisa *pushover* menghasilkan kurva pushover yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D). Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Pada penelitian ini, titik acuan berada pada joint 5 dengan target perpindahan sebesar 4% dari tinggi bangunan yaitu 640 mm yang digunakan sebagai nilai displacement ultimit (δ_u).



GRAFIK 6. KURVA PUHOVER

Nilai displacement maksimum (δ_M) hasil analisa nonlinier riwayat waktu di plot pada kurva Pushover untuk mendapatkan nilai gaya geser lateral (V_y) yang dapat dilihat pada tabel berikut :

REKAMAN GEMPA	IMP. VALLEY	LOMAPRIETA	IMP.PARACHUTE	PARKFIELD
GAYA GESER V_y (Kg)	164821	167343	143657	142315

Tabel 5. Nilai gaya geser yang diperoleh dengan memplot displacement maksimum pada kurva pushover

Nilai displacement akibat leleh (δ_y) tidak diperhitungkan karena penelitian ini menentukan nilai indeks kerusakan dari displacement maksimum yang dihasilkan dari rekaman gempa dan asumsi nilai β yang digunakan sebesar 0.2, maka rumus yang digunakan menjadi :

$$D_{PA} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{V_y \delta_u} \sum_{i=1}^n \int_0^t dE_i$$

sehingga hasil perhitungan indeks kerusakan dapat dilihat pada tabel berikut :

REKAMAN GEMPA	IMP. VALLEY	LOMAPRIETA	IMP.PARACHUTE	PARKFIELD
INDEKS KERUSAKAN	0.2217	0.2206	0.1937	0.1931

Tabel 6. Hasil Perhitungan Indeks Kerusakan 4 Rekaman Percepatan Gempa

6. KESIMPULAN

1. Analisa Direct Integration Time History memberikan perhitungan yang lebih baik karena menggunakan time stepping sehingga hasil yang didapat lebih akurat, namun dengan jumlah time stepping yang semakin banyak akan menambah waktu perhitungan metode ini
2. Nilai gaya geser diperoleh dari kurva pushover yang diplot dengan displacement maksimum yang dihasilkan dari analisa nonlinier riwayat waktu. Nilai displacement akibat leleh tidak diperhitungkan karena pada penelitian ini menganalisa berapa besarnya indeks kerusakan dari displacement maksimum yang dihasilkan oleh percepatan gempa yang ditinjau.
3. Besarnya luasan kurva histeresis akibat pengaruh dari rekaman gempa menghasilkan kenaikan energi histeresis pada tiap tingkat. Dari **Grafik 5** dapat dilihat bahwa semakin tinggi bangunan maka semakin besar energi histeresis sehingga bangunan berpotensi menjadi rusak dan menjadi berbahaya. Namun bila kurva histeresis ditinjau dari kapasitas bangunan, semakin besar luasan kurva histeresis maka semakin besar pula kemampuan bangunan untuk mengabsorpsi energi gempa yang terjadi pada bangunan. Dengan demikian struktur memiliki daya dukung yang baik dalam menahan energi gempa yang terjadi.
4. Dari hasil analisa yang telah dilakukan diperoleh Indeks kerusakan akibat percepatan gempa Imperial valley Bonds Corner sebesar 0.2217, Lomapieta sebesar 0.2206, Imperial Parachute sebesar 0.1937, dan Parkfield sebesar 0.1931. Berdasarkan skala kerusakan Park dan Ang, nilai indeks kerusakan menunjukkan bangunan pada keadaan aman.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Arjomandi, K dkk .2009 . *Correlation Between Structural Performance Levels and Damage Indexes in Steel Frames Subjected to Earthquakes* . Iran
- Cosenza, E and Manfredi, G . *Damage indices and damage measures* ,Universit`a di Napoli Federico II, Italy
- Datta, Debarati dan Ghosh ,Siddhartha .2008. *Estimating Park-Ang Damage Index Using Equivalent System* . Beijing ,China
- Dewanti, Ratih . 2013. *Investigasi Indeks Kerusakan pada Struktur Baja 4 Tingkat dengan Menggunakan Analisa Riwayat Waktu* . Laporan Tugas Akhir . Departemen teknik Sipil . Universitas Sumatera Utara.
- Dewobroto, Wiryanto.2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurusan Teknik Sipil ,Universitas Pelita Harapan
- Estekanchi, H dan Arjomandi ,K . 2007.*Comparison of Damage Indexes in Nonlinier Time History Analysis of Stell Moment Frames*,hal 629-646. Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- Irvine, Max . 1986 . *Structural Dynamics for The Practicing Engineers* . London : Allen &Unwin
- Park, Y.S dkk .2004. *A Proposal for Damage Index of Stell Members Under Severe Seismic Loading* . Vancouver, B.C., Canada
- Teruna, Daniel R. 2013. *Evaluation of seismic performance on ductile MRF system subjected to strong earthquake using damage index as performance criteria*, Seminar HASTAG, Medan